UNIVERZITA PARDUBICE
FAKULTA EKONOMICKO - SPRÁVNÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2008 Kateřina KOUBOVÁ

Univerzita Pardubice

Fakulta ekonomicko – správní

Vícekriteriální hodnocení variant za jistoty – metody rozhodování založené na párovém srovnávání variant

Kateřina Koubová

Bakalářská práce
2008

Univerzita Pardubice
Fakulta ekonomicko-správní
Ústav ekonomiky a managementu
Akademický rok: 2007/2008

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Kateřina KOUBOVÁ**

Studijní program: **B6208 Ekonomika a management**

Studijní obor: **Management podniku**

Název tématu: **Vícekriteriální hodnocení variant za jistoty - metody rozhodování založené na párovém srovnávání variant**

Zásady pro vypracování:

1. Úvod do problematiky
2. Popis vybraných metod
3. Aplikace metod na konkrétní rozhodovací situaci

Rozsah grafických prací: -

Rozsah pracovní zprávy: **cca 30 stran**

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

FOTR, J., PÍŠEK, M.: Exaktní metody ekonomického rozhodování, Academia, Praha, 1986

CHOBOT, M., TURNOVCOVÁ, A.: Modely rozhodovania v konfliktných situáciích a za neurčitosti, Alfa, Bratislava, 1980

TALAŠOVÁ, J.: Fuzzy metody vícekriteriálního hodnocení a rozhodování, Univerzita Palackého, Olomouc, 2003, ISBN 80-244-0614-4

Vedoucí bakalářské práce: **Mgr. Pavel Semerák**
Ústav matematiky

Datum zadání bakalářské práce: **29. října 2007**

Termín odevzdání bakalářské práce: **19. května 2008**

prof. Ing. Jan Čapek, CSc.
děkan

L.S.

doc. Ing. et Ing. Renáta Myšková, Ph.D.
vedoucí ústavu

V Pardubicích dne 6. listopadu 2007

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych ráda poděkovala vedoucímu bakalářské práce panu Mgr. Pavlovi Semerákovi za čas, který věnoval konzultacím a za cenné připomínky a rady. Zároveň bych chtěla poděkovat panu doc. Ing. Pavlovi Duspivovi, CSc. za odbornou spolupráci při tvorbě rozhodovacího problému.

Děkuji

SOUHRN

Tato bakalářská práce se zabývá vícekriteriálním hodnocením variant rozhodování za jistoty. Cílem je vysvětlit a popsat metody založené na párovém srovnávání variant, a to konkrétně metody AGREPREF, ELECTRA III a Aproximace mlhavé relace a jejich aplikace při řešení konkrétního rozhodovacího případu.

KLÍČOVÁ SLOVA

teorie rozhodování, AGREPREF, ELEKTRA III, aproximace mlhavé relace, instrumenty peněžního trhu

TITLE

Multicriteria Evaluation of Alternatives – Decision Making Methods Based on Comparing Alternatives

ABSTRACT

The work deals with multicriteria decision making under certainty. AGREPREF, ELECTRA III and Fuzzy approximation methods are explained and demonstrated on solving concrete decision problem.

KEYWORDS

decision making theory, AGREPREF, ELEKTRA III, fuzzy approximation, money-market instrument

Obsah

Úvod

„Po ukvapeném rozhodnutí následuje lítost.“

Publilius Syrus

Rozhodování tvoří nedílnou součást našich životů. Ať už těch osobních nebo profesních. Některá rozhodnutí jsou banální a k jejich řešení nám stačí intuice nebo naše znalosti. Jiná vyžadují tvůrčí přístup, kreativitu a znalosti odborníků. Člověk v životě udělá mnoho špatných rozhodnutí, ze kterých se poučí. Aby se tato špatná rozhodnutí minimalizovala u problémů, jenž mohou silně ovlivnit budoucí vývoj ať už jedince, domácnosti nebo organizace, začaly se vyvíjet přístupy a metody na podporu rozhodování.

Každý rozhodovací problém je složen ze dvou stránek, a to meritorní, jež se týká obsahu a je u každého rozhodovacího problému jiná a stránky procedurální (formálně logické), kterou tvoří obecné postupy jak tyto situace řešit. Právě touto stránkou procedurální se zabývá teorie rozhodování. Teorie rozhodování, se jako vědecká disciplína začala vyvíjet zhruba od roku 1960. Za jejího zakladatele je považován americký ekonom Herbert Simon. Během let se vyvinulo mnoho přístupů, názorů a metod na podporu rozhodování. Od jednodušších, mezi které můžeme zařadit například metody MAXIMIN, MAXIMAX, Hurwitzova metoda, až po metody velmi náročné na výpočet, například metody vícerozměrné statistické analýzy atd. Všechny tyto metody mají své výhody i nevýhody a jejich použití závisí na rozhodovací situaci a schopnostech rozhodovatele.

Cílem této práce je seznámení s metodami vícekriteriálního hodnocení variant za jistoty, pomocí párového srovnávání variant, jejich vysvětlení a aplikace na konkrétním příkladu. První kapitola je věnována základním pojmům a úvodu do problematiky rozhodování. V druhé kapitole je popsán výběr variant a způsoby stanovení kritérií rozhodování. Třetí kapitola je věnována metodám rozhodování založeným na párovém srovnávání variant, konkrétně metodám AGREPREF, ELECTRA III a Aproximace mlhavé relace a způsobu jejich výpočtu, což je i cílem této práce. Čtvrtou kapitolou začíná praktická část a je v ní popsán rozhodovací problém, zvolené varianty a kritéria rozhodování. V kapitole páté je tento problém řešen pomocí výše popsaných metod. Závěrečná kapitola je věnována celkovému shrnutí a zhodnocení.

Použité značení

V otázce matematické symboliky se řídíme následujícími zásadami:

- matice značíme velkými tučnými písmeny **P**, **R**, atd
- množiny značíme velkými písmeny X, Y.
- prvky množiny značíme *X, Y*.

1 Základní pojmy

Rozhodovací situace je situace, ve které si musíme vybrat jednu ze dvou a více možností. Při rozhodování se racionální účastník snaží vybrat alternativu, která nejvíce přispěje k dosažení cíle. Výběr této nejlepší alternativy se nazývá optimální rozhodování.

Racionálním účastníkem rozhodovací situace rozumíme rozhodující se subjekt, který vychází z porovnávání možných výsledků a usiluje o výběr pro něj nejvýhodnější varianty.

Indiferentní účastník je oproti tomu k výsledkům rozhodování lhostejný nebo může vyjadřovat stavy okolí či světa, jejichž nastání nemůžeme předvídat či ovlivnit (např. přírodní podmínky).

Pokud při rozhodování vystupuje alespoň jeden racionální účastník a výsledky je možné hodnotit pomocí jedné charakteristiky, pak se jedná o rozhodovací situaci se **skalárním ohodnocením výsledků**. V případě, že lze výsledky hodnotit pomocí více charakteristik, mluvíme o rozhodovacích situacích s **vektorovým ohodnocením výsledků**. Obecně můžeme rozhodovací situaci zapsat takto:

$$\left\{\begin{matrix} P = \{1,\ 2\ ...,\ n\}; & X_1, X_2, ..., X_n; & M_1, M_2, ..., M_n \\ Q = \{1,\ 2,\ ...,\ m\}; & Y_1, Y_2, ..., Y_m & \end{matrix}\right\}$$

P… množina racionálních účastníků

Q… množina indiferentních účastníků

$X_1, X_2, ..., X_n$ … n množin variant racionálních účastníků

$Y_1, Y_2, ..., Y_m$ … m množin variant indiferentních účastníků (stavy světa)

$M_1, M_2, ..., M_n$ … n hodnotících funkcí racionálních účastníků

Rozhodovací situace s jedním racionálním účastníkem a se skalárním ohodnocením výsledků se nazývá **nekonfliktní rozhodovací situace** a zabývá se tím matematické programování. Jedná se například o výběr automobilu podle minimální pořizovací ceny.

Konfliktní rozhodovací situací je situace, mající větší počet racionálních účastníků, alespoň jednoho indiferentního účastníka nebo vektorové ohodnocení výsledků. Situacemi větším počtem racionálních účastníků se zabývá teorie her. Využívá se například při obsazování nových strategických trhů. Situace s alespoň jedním indiferentním účastníkem jsou předmětem teorie rozhodování za neurčitosti a rizika. Například objednávka jídla na horské chatě, když nevíme jaké bude počasí a kolik lidí přijde. Posledním typem jsou situace s vektorovým ohodnocením výsledků, těmi se zabývá teorie mnohokriteriální optimalizace. Např. výběr dodavatelů podle cen, kvality, spolehlivosti atd.

Nyní se budeme věnovat poslední možnosti, tedy konfliktní situaci s jedním racionálním účastníkem a s vektorovým ohodnocením výsledků.

1.1 Vícekriteriální rozhodování za jistoty

Jde o situaci, ve které si rozhodovatel vybírá jednu ze dvou nebo více variant. Každé této variantě je přidělen celý vektor hodnotících charakteristik, neboli kritérií a důsledky (situace, jež nastanou po aplikaci daných variant) nám jsou pro jednotlivé varianty známy.
Tuto situaci můžeme zapsat následovně:

$\{P = \{1\} \,; X \,; \boldsymbol{M}\}$

Množina P se skládá z jednoho racionálního účastníka
X … množina variant vytvořených tímto účastníkem
$\boldsymbol{M}$…vektorová hodnotící funkce, definovaná na množině X

2 Tvorba variant řešení a kritérií hodnocení

2.1 Tvorba variant řešení

„Nikdy nesmíte přijmout žádné rozhodnutí, pokud nemáte k dispozici více variant řešení.“

Lee Iacocca

Abychom mohli řešit rozhodovací problém, musíme nejprve sestavit co nejširší soubor variant řešení, jenž obsahuje veškeré použitelné varianty. Při malém počtu variant by nemuselo být nejlepší řešení nalezeno. Vzhledem k tomu, že by rozhodnutí dané situace mělo vést k překonání současného stavu a rozhodovatelé mají často sklony k stereotypnímu uvažování, mělo by se na tvorbě variant podílet více lidí s různou profesí, popřípadě použít některou z metod podporující kreativní myšlení (například brainstorming, brainwriting[1]…). Tím se zajistí odlišné přístupy k řešení daného problému.

2.2 Kritéria hodnocení

Kritéria hodnocení jsou charakteristiky variant zvolené rozhodovatelem, které slouží k určení, v jaké míře jednotlivé varianty naplňují dosažení stanoveného cíle. Tvorba souboru kritérií je složitý proces vyžadující tvůrčí přístup a široké znalosti v dané oblasti. Proto jsou k tvorbě souboru kritérií hodnocení často přizváni odborníci v daném oboru.

Soubor kritérií by měl splňovat tyto požadavky:

- **Úplnost** – soubor obsahuje všechna kritéria přispívající k naplnění stanoveného cíle.
- **Neredundace** – v souboru se nevyskytují kritéria, která by se překrývala, byla totožná, nebo se dala odvodit z jiných.
- **Měřitelnost** – každé kritérium umožňuje hodnocení variant, ať už pomocí kardinální nebo ordinální stupnice.
- **Operacionalita** – jasně definovaný obsah kritérií a srozumitelnost.
- **Dekomponovatelnost** – soubor kritérií umožňuje zjednodušení úlohy vícekriteriálního hodnocení variant její dekompozicí na úlohy menšího rozměru.

[1] Skupinové techniky zaměřené na generování co nejvíce nápadů na dané téma využívající asociace a volného proudu myšlenek.

- **Minimální rozsah** – co nejmenší počet kritérií v souboru usnadňuje vícekriteriální hodnocení variant. Splnění tohoto požadavku by ale nemělo být na úkor požadavku na úplnost souboru kritérií.

2.2.1 Klasifikace souboru kritérií

Soubor kritérií lze klasifikovat ze dvou hledisek. Podle věcné stránky (kritéria ekonomická, technologická…) a stránky formální.

Z hlediska formální klasifikace se uvádí nejčastěji tato hlediska třídění:

1. **preferenční systém rozhodovatele**
   - kritéria s rostoucí preferencí, tedy ta, u kterých jsou vyšší hodnoty upřednostňovány před nižšími (např. zisk, tržby…),
   - kritéria s klesající preferencí, kde je tomu naopak (například náklady, spotřeba…).
2. **možnost kvantifikace významu kritérií**
   - kvantitativně porovnatelná, kdy lze stanovit jejich váhy, vyjadřující rozdílný význam těchto kritérií,
   - kvalitativně porovnatelná, kde lze stanovit jejich pořadí významnosti,
   - neporovnatelná, kdy nelze kritéria uspořádat ani z hlediska jejich významu.
3. **forma vyjádření důsledků variant vzhledem ke kritériím**
   - kvantitativní kritéria, pokud je možné vyjádřit výsledky číselně,
   - kvalitativní kritéria, zde lze použít pouze verbální vyjádření.

Hodnocení variant může být vyjádřeno na stupnici nominální, ordinální, nebo kardinální.

U **nominální stupnice** je daná relace indiference na množině variant, která nám umožňuje posoudit, zda je kvalita dané vlastnosti hodnocena u dvojic variant stejně nebo rozdílně vzhledem k důsledkům těchto variant. Ty se dále zařadí do skupin, mezi kterými mohou, ale nemusí existovat vztahy preference. Skupiny je možné pro přehlednost očíslovat, či pojmenovat.

Ordinální stupnice umožňuje nejen posoudit, zda jsou varianty rovné, či ne, ale i která z daných variant má pro hodnotitele větší význam. Lze tedy varianty seřadit podle preferencí. Jednotlivým variantám jsou přiřazena čísla, která určují pořadí, nelze však určit, o kolik je ta daná varianta preferovanější, než jiná. Ordinální stupnici využíváme především k měření kvalitativních kritérií.

K posouzení intenzity preference mezi jednotlivými variantami, slouží **stupnice kardinální**. Zde můžeme určit o kolik, či kolikrát je daná varianta preferovaná před jinou.

Kardinální stupnicí jsou měřena především kvantitativní kritéria.

2.2.2 Váhy kritérií

Váhy kritérií jsou nezáporná reálná čísla $v_1, v_2, \ldots, v_n$, vyjadřující rozdílnou významnost jednotlivých kritérií vzhledem k celkovému hodnocení variant.

2.2.3 Metody stanovení vah kritérií

Pro stanovení vah kritérií rozhodování je možné využít velké množství metod. Tyto metody lze z hlediska informačního zabezpečení rozdělit do dvou skupin a to na ty, jenž nevyžadují znalost důsledků variant vzhledem k jednotlivým kritériím rozhodování a metody, které tuto znalost předpokládají.

1. metody nevyžadující znalost důsledků

Tyto metody můžeme dále rozdělit na metody přímé a nepřímé.

a) metody přímé

Hodnotitel stanoví přímo nenormované váhy jednotlivých kritérií. Tyto metody jsou poměrně jednoduché a řadí se mezi ně např.:

- **klasifikace kritérií do tříd** – vytvoří se třídy kritérií s různým významem a každé se přiřadí číslo vyjadřující nenormovanou váhu kritérií patřících do této třídy,
- **přiřazení bodů ze zvolené bodové stupnice** – každému kritériu se podle významnosti přiřadí body z bodové stupnice, která může mít menší (1-5), či větší (1-10) rozlišovací schopnost,
- **hodnotící stupnice** (lineární nebo nelineární) – nakreslí se hodnotící stupnice v intervalu <0;1>, vedle které se napíšou kritéria a hodnotitel přiřadí kritériím body z této stupnice odpovídající jejich významnosti,

- **Metfesselova alokace** – hodnotitel dostane 100 bodů, které musí rozdělit mezi jednotlivá kritéria podle jejich významnosti,
- **srovnání významu kritérií z jejich preferenčního pořadí** – určí se kritérium s nejmenším významem, tomu se přidělí číslo 1 a ostatním kritériím se přiřadí násobky podle významu.

b) metody nepřímé

Ke stanovení vah kritérií se u těchto metod dospívá na základě intenzity preferencí dvojic kritérií. Jsou o něco složitější, nežli metody přímé a patří sem např.:

- **metoda párového srovnávání** – sestaví se tabulka s kritérii ve sloupci i v řádku (viz. příloha 1), do pravého horního rohu vypíše rozhodovatel jedničky, pokud kritérium v řádku preferuje před kritériem ve sloupci, nebo nuly, je-li tomu naopak. Určí se počet preferencí pro každé kritérium a nenormované váhy se vypočtou ze vztahu:

  $$v_i = \frac{p_i}{n(n-1)/2},$$

  kde p_i je počet preferencí i-tého kritéria, n je počet kritérií a $n(n\text{-}1)/2$ počet provedených srovnání.

  Nebo ze vztahu:

  $v_i = n + 1 - r_i,$

  kde r_i vyjadřuje pořadí i-tého kritéria v jeho preferenčním uspořádání.

- **Saatyho metoda** - základ metody je stejný jako u párového srovnávání, avšak mimo preference se v pravém horním rohu určuje i její intenzita (využívá se Saatyho hodnotící stupnice viz. příloha 2) a zbytek tabulky se doplní podle vztahů:
  $s_{ii} = 1$ pro všechna i,

  $s_{ji} = \frac{1}{s_{ij}}$ pro všechna i aj.

  Váhy kritérií můžeme získat různými způsoby, například pomocí geometrického průměru řádků. Vypočteme střední geometrickou hodnotu jednotlivých řádků ze vztahu $s_i^{průr.} = \left(\prod_{i=1}^{n} s_i\right)^{\frac{1}{n}}$, kde n je počet kritérií. Získané váhy jsou nenormované.

2. **metody vyžadující ke stanovení vah znalost důsledků variant vzhledem k jednotlivým kritériím**

Tyto metody jsou nejsložitější a kladou největší důraz na uživatele, například:

- **kompenzační metoda**
- **regresní metoda**

Aby byly váhy kritérií vzájemně srovnatelné, je potřeba je normovat. Normování se provádí podle vztahu :

$$v_i = \frac{k_i}{\sum_{j=1}^{n} k_j}$$

v_i … normovaná váha i-tého kritéria

k_i … nenormovaná váha i-tého kritéria

n … počet kritérií

Je zřejmé, že součet normovaných vah je roven jedné.

3 Metody rozhodování

Jak jsme již zmínili v úvodu, metod na podporu rozhodování bylo během let vyvinuto velké množství. S jejich pomocí by měl být uživatel schopen vybrat nejvhodnější variantu řešení problému, či získat preferenční uspořádání variant a na základě toho exaktně zdůvodnit své rozhodnutí. Metody se od sebe odlišují situacemi ve kterých se používají, počty kritérií, způsoby výpočtů a nároky kladenými na řešitele. V této práci se budeme zabývat metodami rozhodování, které byly vytvořeny pro rozhodování za jistoty a jsou založeny na párovém srovnávání variant rozhodování.

3.1 Metody rozhodování založené na párovém srovnávání variant

Základem metod párového srovnávání je zjišťování preferenčních vztahů dvojic variant vzájemným porovnáním. Jsou vhodné pro větší počet variant a použitelné při porovnávání kvantitativních i kvalitativních kritérií rozhodování. Nevedou k určení pouze jediné nejlepší varianty, ale ke srovnání výsledků podle preferencí od nejlepší k nejhorší.

Mezi metody, které jsou méně náročné na výpočet patří například Saatyho metoda a metoda párového srovnávání, o kterých jsme se zmínili již při stanovování vah kritérií. Tyto metody lze použít i při posuzování výhodnosti variant rozhodování, jestliže místo množiny kritérií dosadíme množinu variant.

Složitější metody, kterými se budeme dále zabývat, obvykle nevedou k jednoznačnému preferenčnímu uspořádání variant rozhodování, ale k rozkladu množiny na několik indiferentních tříd, mezi kterými existují vztahy preference. „Tyto metody vycházejí z toho, že se po zjištění preferenčních vztahů všech dvojic variant rozhodování vzhledem k jednotlivým kritériím rozhodování provede souhrnné párové srovnávání variant rozhodování pomocí součtů předem stanovených vah kritérií rozhodování.“[2]

Zástupci této skupiny jsou:

1. metoda AGREPREF
2. metoda ELECTRA III
3. metoda aproximace mlhavé relace.

---

[2] Fotr, J., Píšek, M.: Exaktní metody ekonomického rozhodování, Academia, Praha, 1986

3.2 Definice potřebné pro vysvětlení podstaty metod

Nyní si uvedeme několik definic, nezbytných pro vysvětlení podstaty následujících metod.

Definice 1:

Nechť *A*, *B* jsou dvě neprázdné množiny, pak symbolem $A \times B$ značíme tzv. *kartézský součin* množin *A*, *B*, což je množina všech dvojic prvků $\langle a,b \rangle$, kde $a \in A, b \in B$, tedy

$A \times B = \{\langle a,b \rangle; a \in A, b \in B\}$.

Definice 2:

Nechť *A*, *B* jsou neprázdné množiny a $A \times B$ jejich kartézský součin. Každou podmnožinu $R \subseteq A \times B$ nazveme *relace mezi A*, *B.*

Je-li *A*=*B*, pak $R \subseteq A \times A$ nazveme *relace na množině A.*

Definice 3:

Nechť *A* je neprázdná množina a nechť *R* je relace na *A*. Relace *R* se nazývá:

a) *irreflexivní*, jestliže $\forall a \in A$ platí $\langle a,a \rangle \notin R$;
b) *asymetrická*, jestliže platí implikace: $\langle a,b \rangle \in R \Rightarrow \langle b,a \rangle \notin R$;
c) *tranzitivní*, jestliže platí implikace: $\langle a,b \rangle \in R \wedge \langle b,c \rangle \in R \Rightarrow \langle a,c \rangle \in R$.

Definice 4:

Nechť *A* je neprázdná množina. *Fuzzy relace R* na množině *A* je definována jako zobrazení $\mu_R : A \times A \to \langle 0;1 \rangle$.

Poznámka:

Zobrazení μ_R nazýváme *funkce příslušnosti fuzzy relace R.*

Pro daná $a,b \in A$ vyjadřuje $\mu_R(a,b)$ míru vztahu *R* mezi *a* a *b*.

Definice 5:

Fuzzy relace *R* na množině *A* se nazývá *striktně asymetrická*, jestliže

$\forall a,b \in A: \ \mu_R(a,b) = \alpha \Rightarrow \mu_R(b,a) = 1 - \alpha$.

Definice 6:

Fuzzy relace R na množině A se nazývá *tranzitivní*, jestliže

$$\forall a,b,c \in A: \ \mu_R(a,b) \geq 0{,}5 \wedge \mu_R(b,c) \geq 0{,}5 \Rightarrow \mu_R(a,c) \geq \max\left(\mu_R(a,b), \mu_R(b,c)\right).$$

3.3 Společný základ metod

Všechny tři metody vycházejí z matice preference variant rozhodování **V**. Označme X_j j-tou variantu rozhodování a X_k k-tou variantu rozhodování. Pro každou dvojici X_j a X_k rozložíme množinu I indexů všech kritérií rozhodování na čtyři disjunktní podmnožiny a stanovíme součty vah v_i kritérií patřících do jednotlivých podmnožin.

I_{jk} … množina indexů kritérií, která preferují variantu X_j před variantou X_k

$$V_{jk} = \sum_{i \in I_{jk}} v_i$$

I_{kj} … množina indexů kritérií, která preferují variantu X_k před variantou X_j

$$V_{kj} = \sum_{i \in I_{kj}} v_i$$

$I_{j\approx k}$… množina indexů kritérií, z jejichž hlediska jsou varianty X_j, X_k indiferentní

$$V_{k \approx j} = \sum_{i \in I_{k \approx j}} v_i$$

$I_{j?k}$… množina indexů kritérií, podle nichž jsou varianty X_j, X_k nesrovnatelné

$$V_{k\,?\,j} = \sum_{i \in I_{k\,?\,j}} v_i$$

Ze součtů vah V_{jk} a V_{kj} kritérií rozhodování vytvoříme matici preference variant rozhodování **V** = $[V_{jk}]_{j,k=1,\dots,n}$, která je čtvercová s nulami na hlavní diagonále. Její řád se rovná počtu variant rozhodování. Tato matice je výchozí pro všechny následující metody rozhodování.

3.4 Metoda AGREPREF

Základní myšlenkou této metody je srovnat varianty podle preferencí od nejlepší k nejhorší na základě hodnot charakteristiky, jež nám určuje před kolika variantami je každá z variant preferována.

Prvním krokem je sestavení incidenční matice **P** = [p_{jk}] preferenční relace z matice **V** pomocí vztahu:

$$p_{jk} = \begin{cases} 1, \text{ je - li } j \text{ - té kritérium více významné než } k \text{ - té} \\ 0, \text{ je - li tomu naopak} \end{cases}$$

Matice **P** je čtvercová s nulami na hlavní diagonále. Její řád je roven počtu variant rozhodování. Tato matice se dále upravuje tak, aby bylo dosaženo její tranzitivity, irreflexivnosti a asymetrie (viz definice 3). Přitom se postupuje následovně:

Nejprve se vypočte pro každou variantu X_j hodnota D_j charakteristiky D. Označme varianty X_1 až X_n, D je charakteristika, která udává rozdíl mezi tím, před kolika variantami z celkového počtu n je preferována j-tá varianta X_j a tím, kolik jich je preferovaných před danou variantou. Její výpočet se provede podle vzorce:

$$D_j = \sum_k P_{jk} - \sum_k P_{kj} \, ,$$

kde P_{jk} znamená počet variant, před kterými je j-tá varianta preferována a P_{kj} počet variant preferovaných před ní.

Podle hodnoty charakteristiky D se sestupně přerovnají řádky i sloupce matice **P**. Takto vzniklou matici označíme **R** = [r_{jk}] (indexy j, k již neodpovídají označení variant čísly, ale jsou to řádkové a sloupcové indexy prvků matice **R**). Matici **R** dále upravujeme tak, abychom zajistili její tranzitivitu (viz. definice 3c). Pokud tedy r_{jk} = 1 a r_{kl} = 1, musí být i r_{jl} = 1. Jestliže se r_{jl}=0, položí se tento prvek roven 1.

Získanou matici opět přerovnáme podle přepočtené charakteristiky D a upravíme tak, aby splňovala podmínky asymetrie (viz. definice 3b). Jestliže prvek r_{jk} = 1, musí platit, že prvek r_{kj} = 0. Irreflexivnosti docílíme tím, že jedničky na hlavní diagonále změníme na nuly. Opět vypočteme hodnoty charakteristiky D a řádky sestupně přerovnáme.

Získaná matice má tyto vlastnosti:

- její dolní trojúhelníková submatice je nulová,
- v její horní trojúhelníkové submatici jsou v pravém horním rohu seskupeny jedničky,
- zbývající část její horní trojúhelníkové submatice obsahuje nuly i jedničky, tuto oblast nazýváme oblastí neurčitosti a dále ji budeme muset upravit.

Úprava zóny neurčitosti se provede tak, že se některé nuly zamění za jedničky a naopak tak, aby vznikla ostrá hranice mezi částí matice s jedničkami a částí s nulami. Pro každý nulový prvek v zóně neurčitosti určíme počet prvků jednotkových, které by bylo nutné změnit, pokud by nulový prvek zůstal nezměněn a naopak. Volíme změnu takových prvků, aby byl celkový počet změn co nejnižší.

Matematicky lze tento postup zapsat následovně:
Nejprve se vypočte pro každý prvek r_{jk} z oblasti neurčitosti, v závislosti na jeho hodnotě, jeden z těchto součtů:

$$r_{jk} = 0 : S^0_{jk} = \sum_{p \geq j} \sum_{q \leq k} r_{pq}$$

$$r_{jk} = 1 : S^1_{jk} = \sum_{p \leq j} \sum_{q \geq k} (1 - r_{pq})$$

Dále si označíme:

$$S^0_{j_0,k_0} = \max_{(j,k)} S^0_{jk}$$

$$S^1_{j_1,k_1} = \max_{(j,k)} S^1_{jk}$$

Platí-li $S^0_{j_0,k_0} > S^1_{j_1,k_1}$, nahradíme nulový prvek r_{j_0,k_0} prvkem jednotkovým,

Platí-li $S^0_{j_0,k_0} \leq S^1_{j_1,k_1}$, nahradíme jednotkový prvek r_{j_1,k_1} prvkem nulovým.

Po každé změně prvku se znovu přepočtou hodnoty charakteristiky *D* a matice se v případě potřeby přerovná. V tomto postupu pokračujeme, dokud se zóna neurčitosti neodstraní.

S konečnou maticí **R** získáme na základně klesajících hodnot charakteristiky *D* výsledné uspořádání variant podle vztahu preference od nejlepší k nejhorší. Mohou se zde vyskytovat i varianty na stejné úrovni.

3.5 Metoda ELECTRA III

Metoda ELECTRA III je založena na postupném zmenšování množiny variant řešení eliminací nejlepších nebo nejhorších variant. Preferenční uspořádání variant řešení tedy může být sestupné (od nejlepší k nejhorší), nebo vzestupné (od nejhorší k nejlepší). Stupeň výhodnosti dané varianty se opět zjistí podle hodnoty charakteristiky *D*, jejíž výpočet jsme již popsali u metody AGREPREF.

V metodě ELECTRA III se preference počítají jen z takových dvojic variant, u kterých intenzita preference překročí postupně klesající, automaticky generovanou hodnotu prahu citlivosti.[3]

Při výpočtu metody s klesajícím preferenčním uspořádáním postupujeme následovně:

Označme X množinu všech variant rozhodování. Nejprve v matici preference variant rozhodování najdeme prvek s nejvyšší hodnotou V^0:

$$V^o = \max\{V_{jk} : X_j, X_k \in X\},$$

a druhý nejvyšší prvek V^1, který značí práh citlivosti preference.

$$V^1 = \max\{V_{jk} : X_j, X_k \in X, V_{jk} < V^0\}$$

Označme:

P_j^1 počet variant množiny *X*, před kterými je varianta X_j preferována s prahem citlivosti V^1,

Q_j^1 počet variant množiny *X*, které jsou preferovány před variantou X_j s prahem citlivosti V^1,

Pro každou variantu vypočteme charakteristiku *D* :

$$D_j^1 = P_j^1 - Q_j^1.$$

[3] Fotr, J., Píšek, M.: Exaktní metody ekonomického rozhodování, Academia, Praha, 1986

Mohou nastat dvě situace. Pokud bude charakteristika D_j^1 maximální pro jedinou variantu, oddělíme jí od množiny X jako první variantu (jednoprvkovou indiferenční třídu) a celý proces opakujeme. (Z matice **V** musíme odstranit řádek i sloupec). Tentokrát vybíráme nejvyšší prvky z množiny Y, která je podmnožinou množiny X sníženou o oddělenou variantu. Bude-li D_j^1 maximální pro více variant, oddělíme všechny tyto varianty a získanou množinu označíme písmenem Z:

$$Z \subset X$$

Z množiny Z vybereme dva prvky s nejvyššími hodnotami a označíme je V2 a V3:

$$V^2 = \max\{V_{jk} : X_j, X_k \in Z\}$$

$$V^3 = \max\{V_{jk} : X_j, X_k \in Z, V_{jk} < V^2\}$$

Vypočteme $D_j^2 = P_j^2 - Q_j^2$ obdobným způsobem jako D_j^1.

Tento proces opakujeme, dokud charakteristika D nebude maximální pro jednu variantu, pak vznikne další jednoprvková indiferenční třída. Nebo se velikosti charakteristiky D budou rovnat a tím vznikne víceprvková indiferenční třída. Množina Z se dále zmenší o oddělenou indiferenční třídu a celý postup se opakuje.

Pokud chceme preferenční uspořádání variant od nejhorší k nejlepší, místo varianty s nejvyšší hodnotou charakteristiky D budeme hledat a oddělovat variantu s hodnotou nejnižší. Jinak se postup nemění.

3.6 Aproximace mlhavé relace

Metoda aproximace mlhavé relace vychází z myšlenky seřadit varianty rozhodování od nejlepší k nejhorší podle klesajících řádkových součtů matice $\mathbf{V}^*$ nebo, což je rovnocenné, podle rostoucích sloupcových součtů matice $\mathbf{V}^*$. [4]

Na matici **V** pohlížíme jako na matici znázorňující fuzzy relaci (viz. definice 4) na množině variant.

[4] Fotr, J., Píšek, M.: Exaktní metody ekonomického rozhodování, Academia, Praha, 1986

Nejprve matici preference variant rozhodování **V** upravíme pomocí jednoho z následujících vztahů:

$$V*_{jk} = V_{jk} + \frac{1}{2}(V_{j-k} + V_{j?k}),$$

$$V*_{jk} = \frac{1}{2} + \frac{1}{2}(V_{jk} - V_{kj}),$$

čímž vznikne matice striktní preference variant rozhodování $\mathbf{V}^*$ = [$V*_{jk}$]. Tímto krokem zajistíme striktní asymetrii.

Vypočteme řádkové součty $S_j = \sum_k V^*_{jk}$ matice $\mathbf{V}^*$ a řádky i sloupce uspořádáme sestupně, podle hodnoty S_j. Takto vzniklou matici označíme **T** = [T_{jk}]. Zjistíme, zda matice splňuje podmínku tranzitivity, tedy jestli pro všechna (j, k, l), kde $j < k < l$ platí $T_{jl} \geq \max(T_{jk}, T_{kl})$. Jestliže tomu tak není, je třeba aproximovat matici **T** maticí **W.**

$$\mathbf{W} = \frac{1}{2}(\mathbf{W}^1 + \mathbf{W}^2), \text{ kde}$$

$$\mathbf{W}^1 = \left[W^1_{jk}\right], \qquad W^1_{jk} = \max_{\substack{p \geq j \\ q \leq k}} T_{pq} \qquad (j \leq k)$$

$$W^1_{kj} = 1 - W^1_{jk}$$

$$W^1_{jj} = 0{,}5$$

$$\mathbf{W}^2 = \left[W^2_{jk}\right], \qquad W^2_{jk} = \min_{\substack{p \leq j \\ q \geq k}} T_{pq} \qquad (j \leq k)$$

$$W^2_{kj} = 1 - W^2_{jk}$$

$$W^2_{jj} = 0{,}5$$

Nakonec se podle klesajících řádkových součtů $U_j = \sum_k W_{jk}$ vytvoří preferenční uspořádání variant rozhodování od nejlepší k nejhorší.

4 Rozhodovací problém

Jako rozhodovací problém jsme zvolili výběr nejvhodnějšího instrumentu peněžního trhu, do kterého bychom mohli investovat volné peněžní prostředky. Pro tuto situaci předpokládejme, že chceme investovat částku 500 000 Kč, jelikož se s velikostí objemu hotovosti mění i některé úrokové míry.

Vybrali jsme šest různých instrumentů finančního trhu, které se od sebe liší několika charakteristikami.

4.1 Hlavní cíle

Hlavním cílem je vybrat finanční instrument, který co nejvíce zhodnotí peníze a zároveň není příliš rizikový. S ohledem k inflaci by peníze neměly být uloženy příliš dlouho a měla by být možnost přeměny instrumentu zpět na finanční hotovost s co nejnižšími transakčními náklady. Získání určitých práv spojených s vlastnictvím finančního instrumentu pro nás není podmínkou, ale výhodou.

4.2 Kritéria rozhodování

Při tvorbě kritérií rozhodování jsme vycházeli ze stanovených cílů.

K_1: Ziskovost – o kolik se investovaná částka po určité době navýší - kvalitativní kritérium s rostoucí preferencí.

K_2: Rizikovost – míra pravděpodobnosti, že na investici proděláme - kvalitativní kritérium s klesající preferencí.

K_3: Likvidita – možnost převést finanční instrument na peněžní prostředky s co nejnižšími náklady - kvalitativní kritérium s rostoucí preferencí.

K_4: Investiční horizont – doba držení finančního instrumentu, aby se investice vyplatila - kvantitativní kritérium s klesající preferencí.

K_5: Práva spojená s vlastnictvím - kvalitativní kritérium s rostoucí preferencí.

U kvalitativních kritérií jsme jako kardiální hodnotící stupnici použili interval <0;1>. Pro ziskovost jsme z důvodu variability míry zhodnocení jednoho druhu instrumentu u různých finančních institucí zvolili kvalitativní hodnocení variant.

4.3 Soubor variant

X_1: Podnikové akcie obchodovatelné na BCPP

Podnikové akcie jsou majetkové cenné papíry emitované podniky (akciovými společnostmi) za účelem získání nebo navýšení základního kapitálu. Jejich majiteli (akcionáři) zaručují tři základní práva, a to :

- právo podílet se na řízení podniku účastí na zasedání valné hromady,
- právo na podíl na likvidačním zůstatku při likvidaci podniku,
- právo na výplatu dividend – podíl na zisku.

Velikost těchto práv je dána množstvím vlastněných akcií.
Akcie lze rozdělit podle několika hledisek.

1. **Podle podoby se dělí na akcie**:
    - listinné – což jsou fyzické listy,
    - zaknihované – mají podobu záznamů v rejstříku a jsou vedeny Střediskem cenných papírů.
2. **Z hlediska formy na akcie:**
    - na jméno – jsou vydávány na jméno určité osoby, mají listinnou podobu a jsou převáděny rubopisem[5] a fyzickým předáním,
    - akcie na majitele – mají zaknihovanou podobu, k jejich převodu dochází změnou zápisu příslušných majetkových účtů prodávajícího a kupujícího.
3. **Z hlediska druhu se dělí na:**
    - kmenové akcie – bez zvláštních práv,
    - prioritní – dávají majiteli určité přednostní právo (na výplatu dividend, likvidační zůstatek…),
    - zaměstnanecké – poskytované zaměstnancům akciové společnosti.

---

[5] Způsob převodu cenného papíru písemným zápisem na rubu tohoto papíru.

Dále mohou být akcie obchodovatelné na Burze cenných papírů Praha nebo na mimoburzovním trhu, např. RM-Systém[6].

Pro tuto práci jsme vybrali kmenové akcie obchodovatelné na Burze cenných papírů Praha, které mají, narozdíl od akcií neobchodovatelných, téměř stoprocentní likviditu. V ostatních kritériích se neliší.

X_2: Bankovní dluhopisy

Dluhopisy jsou dluhové cenné papíry emitované institucí s cílem dočasně získat finanční prostředky. Jejich majiteli přinášejí právo na navrácení investované částky po uběhnutí dohodnuté lhůty a právo na vyplacení úroků. V České Republice musí mít emitent dluhopisů povolení k jejich emisi od Komise pro cenné papíry.

Podle délky držení dluhopisu se dělí na krátkodobé (do jednoho roku) a dlouhodobé (rok a více). S délkou držené je též spjata forma vyplácení úroků. U krátkodobých dluhopisů je to v době splatnosti, zatímco držitelům dluhopisů dlouhodobých jsou úroky z dlužné částky vypláceny pravidelně po určité době (pololetně, ročně).

Dluhopisy mohou být vydávány státem, obcemi, bankami a společnostmi.

Bankovní dluhopisy jsou vydávané bankou na dobu delší než jeden rok. Jejich rizikovost je nižší, nežli rizikovost dluhopisů vydávaných podniky, ale vyšší, nežli je tomu u dluhopisů státních a komunálních.

X_3: Státní pokladniční poukázky

Státní pokladniční poukázky jsou dluhové cenné papíry (viz. X_2) emitované státem na dobu kratší než jeden rok. Slouží k pokrytí pokladního schodku státu během roku. Výhodou těchto cenných papírů je, že s sebou nenesou téměř žádné riziko. Stejně jako u bankovních dluhopisů má držitel právo na zpětný odkup státem a úroky.

X_4: Termínované vklady

Termínované vklady jsou služby poskytované finančními institucemi majitelům volných peněžních prostředků. Ti si je uloží na předem dohodnutou dobu, po jejíž uplynutí

---

[6] Regulovaný mimoburzovní elektronický trh s cennými papíry.

dostanou své peníze zpět. Výnosem z termínovaných vkladů jsou úroky. Čím vyšší je uložená částka a čím delší je doba splatnosti, tím vyšší je i úroková míra.

Podle délky trvání můžeme termínované vklady rozdělit na krátkodobé (7 dní až 12 měsíců), střednědobé (1 až 4 roky) a dlouhodobé (nad 5 let). Termínované vklady se můžou úročit buď pevnou nebo pohyblivou sazbou úrokové míry. Pevná sazba je po celou dobu uložení peněz neměnná, zatímco pohyblivá se vyvíjí podle pohybu úrokových sazeb na mezibankovním trhu. Úroky jsou připisovány jednorázově na konci úložní doby nebo pravidelně v určitých intervalech. Termínované vklady jsou málo rizikové, protože jsou pojištěny podle zákona o bankách.

X_5: Podílové listy otevřených smíšených podílových fondů

Podílový list je cenný papír, který podílníkovi přináší právo na odpovídající podíl na majetku podílového fondu a právo podílet se na výnosu z tohoto majetku. Podílové fondy mohou být otevřené – podílník má právo na odkoupení svého podílového listu investiční společností, nebo uzavřené, kde podílník toto právo nemá. Dále se dělí podle zaměření investiční politiky na akciové – investují do akcií různých společností, dluhopisové – investují do dluhopisů, smíšené – investují půl na půl do akcií i dluhopisů a fondy fondů, které investují do jiných podílových fondů. Podílové fondy jsou nízkorizikové, jelikož investují do velkého počtu různých cenných papírů. Kvůli likviditě a rizikovosti jsme se rozhodli pro fondy otevřené se smíšenou investiční politikou.

X_6: Cizí měna

Při současném růstu hodnoty koruny nejsou investice do cizích měn výhodné, avšak pro naši práci přišlo zajímavé porovnání s ostatními investičními instrumenty. Investovat do cizí měny se může hotovostně (valuty), nebo do pohledávek znějících na cizí měnu a v cizí měně splatných (devizy).

Pro získání hodnot jednotlivých instrumentů vzhledem ke kritériím rozhodování a určení vah jednotlivých kritérií, jsme zvolili konzultaci s odborníkem na cenné papíry a došli jsme k hodnotám uvedeným v následující tabulce.

Tabulka 1 – Přehled hodnot kritérií u jednotlivých variant

Varianty \ Kritéria	Ziskovost	Rizikovost	Likvidita	Investiční horizont [roky]	Práva spojená s vlastnictvím
Podnikové akcie	0,9	0,9	0,9	5	1,0
Bankovní dluhopisy	0,4	0,3	0,4	3	0,2
Státní pokladniční poukázky	0,3	0,1	0,9	1	0,2
Termínované vklady	0,2	0,2	0,1	2	0,1
Otevřené podílové listy - smíšené	0,6	0,5	1,0	3	0,7
Cizí měna	0,4	0,5	1,0	1	0,1

4.4 Stanovení vah kritérií

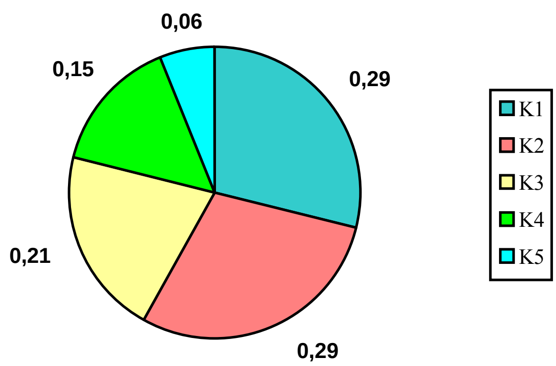
Pro stanovení vah kritérií jsme použili metody Metfesselova alokace a srovnání významu kritérií podle jejich preferenčního uspořádání.

4.4.1 Metfesselova alokace

Nejdůležitějším kritériem pro rozhodování je pro nás bezpochyby ziskovost. Jelikož k ziskovosti neodmyslitelně patří rizikovost, přiřadili jsme těmto kritériím stejné hodnoty. Dalším poměrně důležitými měřítky jsou likvidita a investiční horizont. Jak již bylo řečeno, práva spojená s vlastnictvím pro nás nejsou stěžejní, přiřadili jsme jim tedy nejnižší hodnotu.

Výsledné rozdělení vah kritérií vypadá následovně:

Obrázek 1 - rozdělení vah kritérií pomocí Metfesselovy alokace



$v_1 = 0{,}29$

$v_2 = 0{,}29$

$v_3 = 0{,}21$

$v_4 = 0{,}15$

$v_5 = 0{,}06$

4.4.2 Srovnání významu kritérií podle jejich preferenčního pořadí

Zde jsme vycházeli ze stejných úvah jako u Metfesselovy alokace. Podle důležitosti jsme kritéria seřadili tak, že nejslabšímu byla přidělena hodnota jedna a ostatním vždy násobek, kolikrát je pro nás dané kritérium důležitější, nežli to s nejnižší hodnotou.

K_1	$w_1 = 8$	$v_1 =$ 0,308
K_2	$w_2 = 8$	$v_2 =$ 0,308
K_3	$w_3 = 5$	$v_3 =$ 0,192
K_4	$w_4 = 4$	$v_4 =$ 0,154
K_5	$w_5 = 1$	$v_5 =$ 0,038

$$v_j = \frac{w_j}{\sum_{j=1}^{n} w_j}$$

v_j… váha j-tého kritéria

w_j… hodnota přiřazená j-tému kritériu podle velikosti preference

Tato metoda se zdá jako exaktnější, proto jsme se k ni přiklonili při dalším zpracování.

Vše jsme uspořádali do následující tabulky:

Tabulka 2 – přehled hodnot kritérií včetně jejich vah

Kritéria	**K_1**	**K_2**	**K_3**	**K_4**	**K_5**
Varianty / **Váhy**	0,308	0,308	0,192	0,154	0,038
X_1	0,9	0,9	0,9	5	1,0
X_2	0,4	0,3	0,4	3	0,2
X_3	0,3	0,1	0,9	1	0,2
X_4	0,2	0,2	0,1	2	0,1
X_5	0,6	0,5	1,0	3	0,7
X_6	0,4	0,5	1,0	1	0,1

5 Použití metod párového srovnávání

Nyní aplikujeme výše popsané metody na řešení rozhodovacího problému.

5.1 Společný základ metod

Pomocí součtů vah kritérií rozhodování jednotlivých indiferentních tříd, popsaných v kapitole 4.2, jsme vytvořili matici preference variant rozhodování $\mathbf{V} = [V_{jk}]$, ze které budeme vycházet ve všech následujících metodách.

Výpočet těchto součtů vah popíšeme na prvcích s indexem I_{12} a I_{21}. Z velikosti hodnot kritérií jednotlivých variant se určí, podle kterých kritérií je varianta V_1 preferovanější před variantou V_2. V tomto případě jsou to kritéria K_1, K_3 a K_5. Poté se sečtou jejich váhy.

$I_{12} = \{K_1, K_3, K_5\}$

$V_{12} = 0{,}308 + 0{,}192 + 0{,}038 = 0{,}538$

Prvek matice **V** s indexem I_{12} bude mít hodnotu 0,538.

$I_{21} = \{K_2, K_4\}$

$V_{21} = 0{,}308 + 0{,}038 = 0{,}462$

U prvku I_{21} nemusí vždy platit, že je doplňkem k prvku I_{12}, jelikož se hodnoty kritérií u některých variant mohou rovnat. Musí se tedy tímto způsobem vypočítat hodnoty všech prvků matice.

Uspořádáním takto vypočtených hodnot nám vznikla matice preference **V** variant rozhodování.

Tabulka 3 - Matice preference V variant rozhodování

Varianty rozhodování	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6
X_1	0	0,538	0,346	0,538	0,346	0,346
X_2	0,462	0	0,308	0,538	0,308	0,346
X_3	0,462	0,654	0	1	0,462	0,038
X_4	0,462	0,462	0	0	0,462	0,308
X_5	0,654	0,538	0,538	0,538	0	0,346
X_6	0,654	0,346	0,5	0,654	0,154	0

5.2 Výpočet pomocí metody AGREPREF

Při výpočtu pomocí metody AGREPREF jsme postupovali tak, že jsme nejprve sestrojili incidenční matici **P** preferenční relace, která vychází z matice **V** a vypočítali hodnoty charakteristiky *D*. Vše je uvedeno v tabulce 4.

Tabulka 4 – Incidenční matic P preferenční relace

Varianty rozhodování	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	D_j
X_1	0	1	0	1	0	0	-1
X_2	0	0	0	1	0	0	-2
X_3	1	1	0	1	0	0	1
X_4	0	0	0	0	0	0	-5
X_5	1	1	1	1	0	1	5
X_6	1	0	1	1	0	0	2

Řádky a sloupce matice **P** jsme přerovnali podle klesajících hodnot charakteristiky *D*. Takto vzniklou matici jsme označili písmenem **R**.

Tabulka 5 - Matice R

Varianty rozhodování	X_5	X_6	X_3	X_1	X_2	X_4
X_5	0	1	1	1	1	1
X_6	0	0	1	1	0	1
X_3	0	0	0	1	1	1
X_1	0	0	0	0	1	1
X_2	0	0	0	0	0	1
X_4	0	0	0	0	0	0

Aby matice **R** splňovala podmínku tranzitivity, zaměnili jsme nulový prvek r_{25} za jednotkový. Další změny již nebyly potřeba. U získané matice jsme opět vypočetli hodnoty charakteristiky *D*, z nichž vyplývá, že matici není třeba přerovnávat. Jelikož získaná matice splňuje podmínky asymetrie, irreflexivnosti a nevyskytuje se zóna neurčitosti, nemusíme ji dále upravovat. Vše je uvedeno v tabulce 6.

Tabulka 6 – Matice R po úpravě – výsledná matice

Varianty rozhodování	X_5	X_6	X_3	X_1	X_2	X_4	D_j
X_5	0	1	1	1	1	1	5
X_6	0	0	1	1	1	1	3
X_3	0	0	0	1	1	1	1
X_1	0	0	0	0	1	1	-1
X_2	0	0	0	0	0	1	-3
X_4	0	0	0	0	0	0	-5

Z této matice již můžeme určit preferenční uspořádání variant rozhodování od nejlepší k nejhorší:

Pořadí	Varianta rozhodování
1.	X_5
2.	X_6
3.	X_3
4.	X_1
5.	X_2
6.	X_4

Z výsledného uspořádání variant je vidět, že jako nejlepší vyšla varianta X_5, což jsou podílové listy, dále varianta X_6, cizí měna a varianta X_3, státní pokladniční poukázky.

5.3 Výpočet pomocí metody ELECTRA III

Jak je popsáno v kapitole 4.4, metodu ELECTRA III je možné realizovat ve dvou verzích. A to tak, že jsou podle preference výsledky uspořádány sestupným, nebo vzestupným způsobem.

5.3.1 Výpočet metody s klesajícím preferenčním uspořádáním výsledků

Při výpočtu se sestupným uspořádáním výsledků jsme postupovali následovně. Prvním krokem bylo nalezení prvku s nejvyšší hodnotou V^0 a prvku s druhou nejvyšší hodnotou V^1 v matici preference variant rozhodování **V**.

$V^0 = 1$, $V^1 = 0{,}654$

Pomocí těchto prvků jsme stanovili hodnoty charakteristiky *D*, která vyšla maximální pro variantu X_3.

Tabulka 7 - Výpočet D_j^1

j	1	2	3	4	5	6
P_j^1	0	0	1	0	0	0
Q_j^1	0	0	0	1	0	0
D_j^1	0	0	$\boxed{1}$	-1	0	0

Variantu X_3 jsme oddělili od matice **V** (vyjmuli jsme řádek i sloupec) a celý proces jsme opakovali s takto vytvořenou submaticí.

Tabulka 8 – Matice preference V po odstranění varianty X_3

Varianty rozhodování	X_1	X_2	X_4	X_5	X_6
X_1	0	0,538	0,538	0,346	0,346
X_2	0,462	0	0,538	0,308	0,346
X_4	0,462	0,462	0	0,462	0,308
X_5	0,654	0,538	0,538	0	0,346
X_6	0,654	0,346	0,654	0,154	0

V submatici matice **V** jsme opět nalezli prvky s nejvyššími hodnotami, $V^0 = 0{,}654$, $V^1 = 0{,}538$, a vypočetli součty D_j^1.

Tabulka 9 – Výpočet D_j^1 z tabulky 8

j	1	2	4	5	6
P_j^1	0	0	0	1	2
Q_j^1	2	0	1	0	0
D_j^1	-2	0	-1	1	$\boxed{2}$

Jako nejlepší vyšel součet u varianty X_6. Celý postup se opakuje, dokud nezískáme pořadí výhodnosti pro všechny varianty. Vše je uvedeno v tabulkách 10 – 15.

Tabulka 10 – Matice preference V po odstranění varianty X_3 a X_6

Varianty rozhodování	X_1	X_2	X_4	X_5
X_1	0	0,538	0,538	0,346
X_2	0,462	0	0,538	0,308
X_4	0,462	0,462	0	0,462
X_5	0,654	0,538	0,538	0

$V^0 = 654$, $V^1 = 538$

Tabulka 11 - Výpočet D_j^1 z tabulky 10

j	1	2	4	5
P_j^1	0	0	0	1
Q_j^1	1	0	0	0
D_j^1	-1	0	0	1

Tabulka 12 – matice preference V po odstranění variant X_3, X_6 a X_5

Varianty rozhodování	X_1	X_2	X_4
X_1	0	0,538	0,538
X_2	0,462	0	0,538
X_4	0,462	0,462	0

$V^0 = 0{,}538$, $V^1 = 0{,}462$

Tabulka 13 - Výpočet D_j^1 z tabulky 12

j	1	2	4
P_j^1	2	1	0
Q_j^1	0	1	2
D_j^1	2	0	-2

Tabulka 14 - matice preference V po odstranění variant X_3, X_6, X_5 a X_1

Varianty rozhodování	X_2	X_4
X_2	0	0,538
X_4	0,462	0

$V^0 = 0{,}538$, $V^1 = 0{,}462$

Tabulka 15 - Výpočet D_j^1 z tabulky 14

j	2	4
P_j^1	1	0
Q_j^1	0	1
D_j^1	1	-1

Preferenční uspořádání variant od nejlepší k nejhorší vypadá následovně:

Pořadí	Varianta rozhodování
1.	X_3
2.	X_6
3.	X_5
4.	X_1
5.	X_2
6.	X_4

Jak je z tabulky patrné, vyšla jako nejlepší varianta X3 (státní pokladniční poukázky), dále varianty X6 (cizí měna) a X5 (podílové listy).

5.3.2 Výpočet metody s rostoucím preferenčním uspořádáním výsledků

U výpočtu s rostoucím uspořádáním je postup totožný až po tabulku 7, ze které jsme nevybírali variantu s nejvyšší hodnotou charakteristiky D, ale tu s hodnotou nejnižší.

Tabulka 16 - Výpočet D_j^1

j	1	2	3	4	5	6
P_j^1	0	0	1	0	0	0
Q_j^1	0	0	0	1	0	0
D_j^1	0	0	1	$\boxed{-1}$	0	0

Dále jsme pokračovali odstraněním nejhorší varianty, v tomto případě varianty X_4 a nalezením hodnot V^0 a V^1 z takto vytvořené submatice. Tento postup jsme opakovali, dokud nevyšlo výsledné uspořádání variant.

Pořadí	Varianta rozhodování
1.	X_5
2.	X_6
3.	X_3
4.	X_2
5.	X_1
6.	X_4

Jak je z výsledků zřejmé, při výpočtech sestupně a vzestupně nevycházejí stejná uspořádání variant.

5.4 Výpočet pomocí metody Aproximace mlhavé relace

Při použití metody aproximace mlhavé relace jsme nejprve vytvořili matici striktní preference variant rozhodování **V***. Která je spolu s řádkovými součty uvedena v tabulce 17.

Výpočet jednotlivých prvků znázorníme na prvku V_{13}.

$$V^*_{13} = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} * (0{,}346 - 0{,}462)$$

$$V^*_{13} = 0{,}442$$

Tabulka 17 - Matice striktní preference V*

Varianty rozhodování	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	S_j
X_1	0,5	0,538	0,442	0,538	0,346	0,355	2,719
X_2	0,462	0,5	0,327	0,538	0,385	0,5	2,712
X_3	0,558	0,673	0,5	1	0,462	0,269	3,462
X_4	0,462	0,462	0	0,5	0,462	0,327	2,213
X_5	0,654	0,615	0,538	0,538	0,5	0,596	3,441
X_6	0,645	0,5	0,731	0,673	0,404	0,5	3,453

Řádky i sloupce matice **V*** jsme přerovnali sestupně podle hodnot řádkových součtů *S*. Takto vzniklá matice je označena **T** a uvedena v tabulce 18.

Tabulka 18 - Matice T

Varianty rozhodování	X_3	X_6	X_5	X_1	X_2	X_4
X_3	0,5	0,269	0,462	0,558	0,673	1
X_6	0,731	0,5	0,404	0,645	0,5	0,673
X_5	0,538	0,596	0,5	0,645	0,615	0,538
X_1	0,442	0,355	0,346	0,5	0,538	0,538
X_2	0,327	0,5	0,385	0,462	0,5	0,538
X_4	0	0,327	0,462	0,462	0,462	0,5

Jelikož matice **T** nesplňuje podmínku tranzitivity, museli jsme ji aproximovat maticí W, vytvořenou jako aritmetický průměr matic $\mathbf{W_1}$ a $\mathbf{W_2}$, sestavených podle vztahů uvedených v kapitole 4.5. Matice $\mathbf{W_1}$ a $\mathbf{W_2}$ jsou uvedeny v následujících tabulkách 19 a 20.

Tabulka 19 - Matice W^1

Varianty rozhodování	X_3	X_6	X_5	X_1	X_2	X_4
X_3	0,5	0,731	0,731	0,731	0,731	1
X_6	0,269	0,5	0,731	0,731	0,731	0,731
X_5	0,269	0,269	0,5	0,645	0,645	0,645
X_1	0,269	0,269	0,346	0,5	0,538	0,538
X_2	0,269	0,269	0,346	0,462	0,5	0,538
X_4	0	0,269	0,346	0,462	0,462	0,5

Tabulka 20 - Matice W^2

Varianty rozhodování	X_3	X_6	X_5	X_1	X_2	X_4
X_3	0,5	0,269	0,462	0,558	0,673	1
X_6	0,731	0,5	0,404	0,5	0,5	0,673
X_5	0,538	0,596	0,5	0,5	0,5	0,538
X_1	0,442	0,5	0,5	0,5	0,5	0,538
X_2	0,327	0,5	0,5	0,5	0,5	0,538
X_4	0	0,327	0,462	0,462	0,462	0,5

Matice **W** je společně s řádkovými součty uvedena v tabulce 20.

$$W_{12} = \frac{0{,}731 + 0{,}269}{2}$$

$$W_{12} = 0{,}5$$

Tabulka 21 - Matice W

Varianty rozhodování	X_3	X_6	X_5	X_1	X_2	X_4	U_j
X_3	0,5	0,5	0,597	0,645	0,702	1	3,943
X_6	0,5	0,5	0,568	0,616	0,616	0,702	3,501
X_5	0,404	0,433	0,5	0,573	0,573	0,592	3,073
X_1	0,356	0,385	0,423	0,5	0,519	0,538	2,72
X_2	0,298	0,385	0,423	0,481	0,5	0,538	2,625
X_4	0	0,298	0,404	0,462	0,462	0,5	2,126

Nakonec jsme podle hodnot řádkových součtů uspořádali varianty od nejlepší k nehorší.

Pořadí	Varianta rozhodování
1.	X_3
2.	X_6
3.	X_5
4.	X_1
5.	X_2
6.	X_4

Při použití této metody nám jako nejlepší varianta vyšla varianta X_3, druhá nejlepší X_6 a X_5.

5.5 Shrnutí výsledků

Když srovnáme preferenční uspořádání variant, která vyšla u jednotlivých metod, zjistíme, že pořadí není totožné. Ve všech případech však vyšly jako tři nejlepší varianty X_3 – státní pokladniční poukázky, X_5 – podílové listy otevřených smíšených podílových fondů a X_6 – cizí měna. Rozhodovatel by si tedy volil pro uskutečnění svého záměru jednu z těchto variant. Varianty X_1, X_2 a X_4 se v této situaci jeví jako méně výhodné a při dalším rozhodování by se již nebraly v potaz.

Závěr

Cílem této práce bylo popsat a vysvětlit metody párového srovnávání variant a jejich pomocí řešit rozhodovací problém, což jsme splnili. Jak je z výsledků patrné, tyto metody nevedou k jednoznačnému určení jediné nejvýhodnější varianty, ale ke srovnání variant podle jejich preferenčního uspořádání. To je jejich největší výhodou oproti metodám jednodušším. Jejich uživateli zjednoduší rozhodování tím, že mu umožní z celkového souboru variant vybrat ty, které jsou pro něj nejvýhodnější, což by bylo lépe patrné při použití většího souboru variant.

V našem případě jako nejvýhodnější investiční instrumenty finančního trhu vyšly státní pokladniční poukázky, podílové listy otevřených smíšených podílových fondů a cizí měna. Dále by bylo již na rozhodovateli, kterou z uvedených variant by aplikoval. Rozhodnout by se mohl pomocí intuice, zkušeností z již dříve řešených problémů, či použití některé z dalších metod na podporu rozhodování.

Při výpočtu pomocí metody AGREPREF je možné použít prahy citlivosti několika druhů. Jejich užití je však pro rozhodovatele velmi náročné a vysvětlení by přesahovalo rámec bakalářské práce, proto jsme jim nevěnovali pozornost.

Použité zdroje

[1] BUCHTA, M., SIEGL, M. : *Základy managementu*, Univerzita Pardubice, Pardubice, 2000, ISBN: 80-7194-304-5

[2] ČERNÝ, M., VLACH, M., ZIMMERMANN, K.: *Axiomatická teorie užitku*, Státní pedagogické nakladatelství Praha, Praha, 1975

[3] FOTR, J., PÍŠEK, M.: *Exaktní metody ekonomického rozhodování*, Academia, Praha, 1986

[4] CHAJDA, I.: *Úvod do algebry*, Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc, 1999, ISBN 80-244-0061-8

[5] CHOBOT, M., TURNOVOCOVÁ, A.: *Modely rozhodovania v konfliktných situáciích a za neurčitosti,* Alfa, Bratislava, 1980

[6] LINHART, P., ROUDNÝ, R,: *Krizový management III – teorie a praxe rizika*, Univerzita Pardubice, Pardubice 2007, ISBN: 80-7194-924-8

[7] NOVÁK, V.: *Fuzzy množiny a jejich aplikace*, SNTL Praha, Praha, 1990, ISBN 80-03-00325-3

[8] TALAŠOVÁ, J.: *Fuzzy metody vícekriteriálního hodnocení a rozhodování,* Univerzita Palackého, Olomouc, 2003, ISBN 80-244-0614-4

[9] § 1 zákona č. 591/1992 Sb., o cenných papírech

[10] Finance.cz *: banky, kalkulačky, spoření, kurzy měn* [online]. c2000 [cit. 2008-04-20]. Dostupný z WWW: <http://www.finance.cz/bankovnictvi/informace/terminovane-vklady/co-to-je/

Seznam tabulek

Seznam obrázků

Seznam příloh

Příloha 1

Tabulka pro zjištění preferencí dvojic kritérií při použití metody párového srovnávání.

Tabulka pro zjištění preferencí dvojic kritérií

Kritérium	K_1	K_2	K_3	…	K_n	Počet preferencí
K_1						
K_2						
K_3						
…						
K_n						

Zdroj: Fotr, J., Píšek, M.: Exaktní metody ekonomického rozhodování, Academia, Praha, 1986

Příloha 2

Saatym doporučená bodová stupnice s deskriptory.

Počet bodů	Deskriptor
1	kritéria jsou stejně významná
3	první kritérium je slabě významnější než druhé
5	první kritérium je dosti významnější než druhé
7	první kritérium je prokazatelně významnější než druhé
9	první kritérium je absolutně významnější než druhé

Zdroj: Fotr, J., Píšek, M.: Exaktní metody ekonomického rozhodování, Academia, Praha, 1986